

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-32428

(43)公開日 平成5年(1993)2月9日

(51)Int.Cl. ⁵ C 0 3 B 33/09 B 2 3 K 26/00 B 2 6 F 3/06	識別記号 9041-4G 3 2 0 E 7920-4E 7411-3C	序内整理番号 F I	技術表示箇所
--	---	---------------	--------

審査請求 未請求 請求項の数3(全8頁)

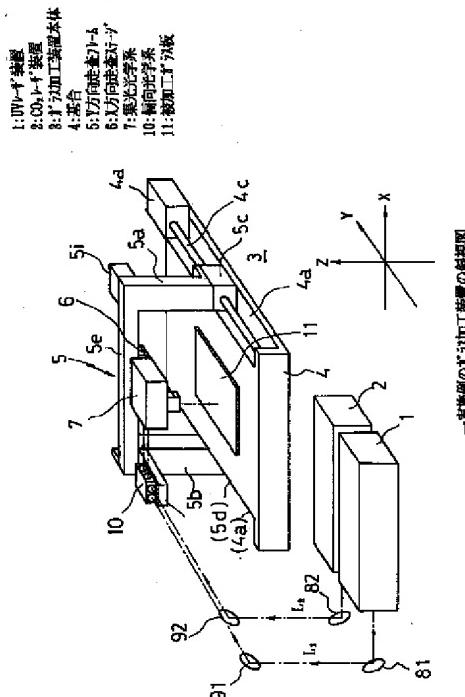
(21)出願番号 特願平3-190115	(71)出願人 000113263 ホーヤ株式会社 東京都新宿区中落合2丁目7番5号
(22)出願日 平成3年(1991)7月30日	(72)発明者 深津 透 東京都新宿区中落合2丁目7番5号 ホーヤ株式会社内
	(74)代理人 弁理士 阿仁屋 節雄 (外2名)

(54)【発明の名称】 ガラス加工方法及びその装置

(57)【要約】

【目的】 被加工ガラス体を、塵等の発生を押さえつつ容易・迅速に複雑な形状に割断できるガラス加工方法及びその装置を提供することを目的としたものである。

【構成】 本発明にかかるガラス加工方法及びその装置は、被加工ガラス体11に対して高い吸収率を有する紫外線領域のレーザ光L₁を被加工ガラス体11の表面部に集光してその集光点を加工目的の形状に沿って走査させることにより、該被加工ガラス体11の表面部にスクライビングを施した後、このスクライビングを施した部位に沿って前記被加工ガラス体11に対して高い吸収率を有する赤外線領域のレーザ光L₂を照射して該部位に割断に結び付く熱歪みを与えることにより割断するようにしたもので、これにより、被加工ガラス体を、塵等の発生を押さえつつ容易・迅速に複雑な形状に割断することを可能にしたものである。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 被加工ガラス体の表面部にスクライビングを施してこのスクライビングを施した部位に沿って被加工ガラス体に歪を与え、該部位から被加工ガラス体を割断するガラス加工方法において、

前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する紫外線領域のレーザ光を被加工ガラス体の表面部に集光してその集光点を加工目的の形状に沿って走査させることにより、該被加工ガラス体の表面部にスクライビングを施す工程と、

このスクライビングを施した部位に沿って前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する赤外線領域のレーザ光を照射して該部位に割断に結び付く熱歪みを与える工程とを含むことを特徴としたガラス加工方法。

【請求項2】 請求項1に記載のガラス加工方法において、

前記紫外線領域のレーザ光として、エキシマレーザ光、またはパルスNd:YAGレーザの第3高調波光もしくは第4高調波光を用い、前記赤外線領域のレーザ光としてCO₂レーザ光を用いることを特徴としたガラス加工方法。

【請求項3】 請求項1または2に記載のガラス加工方法を実施するガラス加工装置であって、

前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する紫外線領域のレーザ光を発生する第1レーザ装置と、

前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する赤外線領域のレーザ光を発生する第2レーザ装置と、

前記第1レーザ装置から射出された紫外線領域のレーザ光を集光する第1集光手段と、

前記第2レーザ装置から射出された赤外線領域のレーザ光を集光する第2集光手段と、

前記第1集光手段によって集光された紫外線領域のレーザ光を前記被加工ガラス体上を加工目的の形状に沿って走査させてスクライビングを施す第1走査手段と、

前記第2集光手段によって集光された赤外線領域のレーザ光を前記スクライビングを施した部位に沿って走査させる第2走査手段とを有することを特徴としたガラス加工装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【産業上の利用分野】 この発明は、例えば、LCD基板用の高品位薄板ガラス等を迅速にかつ正確に所望の形状に沿って割断加工する場合等に利用できるガラス加工方法及びその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 板ガラス等のガラス体を切断するには、ダイヤモンド工具や超硬工具等によりガラスに切れ込みを入れ（スクライビング）、その切れ込みに沿って機械的な応力を加えて割る（割断）という方法が一般的であった。

10

【0003】また、この場合、機械的応力を加える代わりに、切れ込み（スライプ線）に沿ってCO₂レーザ光を照射し、該部位に熱歪を加えて割断するという方法も提案されていた（実開昭62-175042号公報参照）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、近年、多用されるようになったLCD基板用の高品位薄板ガラス等を所望の複雑な形状に沿って正確に切断するような場合、上述の従来の方法では次のような問題が生じていた。

【0005】すなわち、ダイヤモンド工具や超硬工具等により機械的にスクライビングを施す場合、スライプ線の形状が曲線のような場合には、このスライプ線から離れた方向への割れ（クラック）が入りやすいため、曲線を含む複雑な形状の切断が困難であり、歩留まりも悪いという問題があった。

【0006】また、機械的にスクライビングを行う際と機械的応力を加えて割断する際に、削り屑や微細な欠け屑等の塵が発生し易く、この塵が最終製品の歩留まりを下げる一因ともなるという問題もあった。

【0007】この発明は、上述の背景のもとでなされたものであり、被加工ガラス体を、塵等の発生を押さえつつ容易・迅速に複雑な形状に割断できるガラス加工方法及びその装置を提供することを目的としたものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】 上述の課題を解決するために本発明は、（1）被加工ガラス体の表面部にスクライビングを施してこのスクライビングを施した部位に沿って被加工ガラス体に歪を与え、該部位から被加工ガラス体を割断するガラス加工方法において、前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する紫外線領域のレーザ光を被加工ガラス体の表面部に集光してその集光点を加工目的の形状に沿って走査させることにより、該被加工ガラス体の表面部にスクライビングを施す工程と、このスクライビングを施した部位に沿って前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する赤外線領域のレーザ光を照射して該部位に割断に結び付く熱歪みを与える工程とを含むことを特徴とした構成とし、この構成1の態様として、（2）構成1のガラス加工方法において、前記紫外線領域のレーザ光として、エキシマレーザ光、またはパルスNd:YAGレーザの第3高調波光もしくは第4高調波光を用い、前記赤外線領域のレーザ光としてCO₂レーザ光を用いることを特徴とした構成とし、また、構成1または2の方法を実施するガラス加工装置として、（3）構成1または2のガラス加工方法を実施するガラス加工装置であって、前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する紫外線領域のレーザ光を発生する第1レーザ装置と、前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する赤外線領域のレーザ光を発生する第2レーザ装置と、前記第1レーザ装置から射出された紫外線

20

30

40

50

50

領域のレーザ光を集光する第1集光手段と、前記第2レーザ装置から射出された赤外線領域のレーザ光を集光する第2集光手段と、前記第1集光手段によって集光された紫外線領域のレーザ光を前記被加工ガラス体上を加工目的の形状に沿って走査させてスクライビングを施す第1走査手段と、前記第2集光手段によって集光された赤外線領域のレーザ光を前記スクライビングを施した部位に沿って走査させる第2走査手段とを有することを特徴とした構成としたものである。

【0009】

【作用】上述の構成1において、被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する紫外線領域のレーザ光を被加工ガラス体の表面部に集光してその集光点を加工目的の形状に沿って走査させることにより、該被加工ガラス体の表面部に良好なスクライビングを施すことができる。この点は本発明者が見出したもので、従来は、ガラス体にレーザスクライビングを施すのは極めて困難とされていた。これに対して、本発明者は紫外線領域のレーザ光を用いることにより、良好なスクライビングを施すことができることを見出だしたものである。

【0010】すなわち、紫外線領域のレーザ光は、通常のガラス材に対する吸収率が著しく高いので、ガラス体に照射した場合、ガラス体の極表面でのみ吸収される。従って所定以上の強度を有する紫外線領域のレーザ光を集光してガラス体の表面に照射することにより、ガラス体の表面部、すなわち、数 μm 内外の深さの範囲内にレーザ光のエネルギーを集中して吸収させることができる。そして、集光スポット径を適切に設定することにより、現在、実用的に得られる紫外線領域のレーザ光を用いても、ガラス体表面部に集中させたレーザ光のエネルギー密度をガラス体を蒸発・飛散させる程度まで高めることを見出だした。以下、この作用を説明する。

【0011】いま、ガラス体の吸収係数を α (cm^{-1})、レーザ光が $1/100$ に減衰するまでの深さを t (cm) とすると、

$$e^{-\alpha t} = 0.01 \quad \cdots(1)$$

であるから、この(1)式より、

$$t = 4.61/\alpha \quad \cdots(2)$$

である。

【0012】また、レーザ光のビーム径を d (cm) とすると、レーザ光が吸収される体積 V (cm^3) は、

$$V = (d/2)^2 \pi t \quad \cdots(3)$$

である。ここで、レーザ光がこの体積 V 内で均一に吸収されると仮定する。そして、このときの吸収エネルギーを E (J) とし、また、ガラス体の密度を ρ (g/cm^3)、比熱を C ($\text{J}/\text{g} \cdot \text{K}$)、温度上昇を T (K) とすると、

$$E = C \rho V T \quad \cdots(4)$$

である。この(4)式から、

$$T = E / C \rho V \quad \cdots(5)$$

となる。この(5)式に上記(2)式及び(3)式を代入すると、

$$T = (\alpha E) / (4.61 \pi \rho C (d/2)^2) \quad \cdots(6)$$

となる。この(6)式に、通常のガラス体に対する紫外線領域のレーザ光の吸収係数や現在実用的に発生できる紫外線領域のレーザ光パワー等の典型値として、下記値を入れる。

10 【0013】 $\alpha = 10000$

$$d = 0.003 \text{ cm} (30 \mu\text{m})$$

$$C = 0.2 \text{ cal/g} \cdot \text{K}$$

$$\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$$

$$E = 0.0001 \text{ J} (100 \mu\text{J})$$

これにより、 $T = 6700 \text{ K}$ と求まる。この温度は、ガラス体の昇華点を十分に越えている。なお、ここでは、パルス幅が十分に短い (10 ns 程度) パルスレーザを用い、かつ、熱伝導等による熱の散逸がないと仮定したものであるが、これは、現在実用的に得られる構成2にかけたような紫外線領域のレーザにおいても無理のない仮定である。また、パルスレーザを用いた場合には、加工形状に沿って照射位置をずらしながら各位置でパルスレーザ光を照射するようにすることで加工形状に沿ったスクライビングを施すことができる。

【0014】さて、このようにして、被加工ガラス体の表面に幅数十 μm 、深さ数 μm のスクライビングを施した工程の後に、このスクライビングを施した部位に沿って構成2にかけたCO₂レーザのような赤外線領域のレーザ光を照射して割断に結び付く熱歪を与えることにより、被加工ガラス体をスクライビングの形状の沿って割断させることができる。

【0015】この方法によれば、レーザ光によるスクライビングであるので、曲線を含む複雑な形状でも、他の部位にクラック等を入れることなく正確に、かつ、容易・迅速にスクライビングを施すことができ、しかも、そのスクライビングの際には、ガラス体を昇華させ、蒸発・飛散させて、削り屑のような、後の製造工程等で障害となる可能性のある塵等を発生させることができない。加えて、熱歪を加える工程も、赤外線領域のレーザ光を

40 照射することにより行うので、スクライビングを施した部位に正確に沿って熱歪を加えることができ、他の部位に有害な応力等が加わることがない。従って、割断の際に割れや欠け等を生ずるおそれがなく、高い歩留まりで割断を行うことができる。

【0016】さらに、構成3によれば、構成1または2の方法を容易に実施できる装置を得ることができる。

【0017】

【実施例】図1はこの発明の一実施例にかかるガラス加工装置の斜視図、図2は集光光学系の縦 (YZ平面で切断した) 断面図、図3は集光光学系の横 (XZ平面で切

断した)断面図、図4は偏向光学系の水平(XY平面で切断した図)、図5は一実施例のガラス加工方法の工程説明図である。以下、これらの図面を参照にしながら、まず、この発明の一実施例にかかるガラス加工装置を説明し、次に、この発明にかかるガラス加工方法を説明する。

【0018】一実施例のガラス加工装置

図1において、符号1は紫外線領域(UV)レーザ装置、符号2はCO₂レーザ装置、符号3はガラス加工装置本体である。

【0019】UVレーザ装置1は、Nd:YAGレーザの第4高調波(波長:266nm)パルス光を発生して射出するもので、内部にCW-QスイッチパルスNd:YAGレーザ装置と、このNd:YAGレーザ装置から射出した基本波レーザ光を入射してその第4高調波光を射出する高調波発生素子とを内蔵するものである。射出されるパルス光のエネルギーは200μJ、パルスの繰り返し周波数は5kHzである。

【0020】CO₂レーザ装置は、波長10.6μmのレーザ光を連続して射出するもので、出力パワーは25Wである。

【0021】ガラス加工装置本体3の概略構成は、基台4と、この基台4に対して図中Y軸方向に移動可能なように該基台に取り付けられたY方向走査フレーム5と、このY方向走査フレーム5に対して図中X軸方向に移動可能なように該Y方向走査フレーム5に取り付けられたX方向走査ステージ6と、このX方向走査ステージ6に固定された集光光学系7とからなる。そして、前記UVレーザ装置1及びCO₂レーザ装置2からそれぞれ射出されたUVレーザ光L₁及び赤外レーザ光L₂を、光路変更用反射鏡81, 82ならびに91, 92をそれぞれ介し、さらに、Y方向走査フレーム5に固定された偏向光学系10を通じて集光光学系7に導き、該集光光学系7によって集光した後、基台4上に固定された被加工ガラス板11に照射するようにしたものである。

【0022】Y方向フレーム5は、略「門」形をなしており、その両脚5a, 5bの下部にそれぞれスライダ5c, 5d(スライダ5dは図示せず)を取り付け、これらスライダ5c, 5dを、基台4の図中左右端部にそれぞれ形成したレール4a, 4b(レール4bは図示せず)に摺動自在に嵌合したものである。そして、スライダ4aにガイドスクリュー4cを貫通螺合させ、このガイドスクリュー4cをパルスモータ4dによって回転駆動することにより、Y方向走査フレーム5をY軸方向に移動制御するようにしたものである。なお、パルスモータ4dは図示しない制御装置により制御されるようになっている。

【0023】図2に示されるように、X方向走査ステージ6は、Y方向走査フレーム5の梁部5eの長手方向下部に取り付けられたレール5fに摺動自在に嵌合されて

おり、図中X軸方向に移動自在になっている。なお、このX方向走査ステージ6には腕5gが取り付けられており、この腕5gにはガイドスクリュー5hが貫通螺合され、さらに、このガイドスクリュー5hはパルスモータ5iによって回転駆動されるようになっている。このパルスモータ5iはY方向走査フレーム5に固定されていると共に、図示しない制御装置によって制御されるようになっている。したがって、図示しない制御装置の制御指令によってパルスモータ5iを回転制御することにより、X方向走査ステージ6をX軸方向に移動制御することができるようになっている。このX方向走査ステージ6には集光光学系7が固定されている。

【0024】この集光光学系7はX方向走査ステージ6に固定されたベース71と、このベース71の上側に固定された2つの偏向ミラー72a, 72bと、ベース71の下側に取り付けられた2つの集光レンズ73a, 73bとを有している。

【0025】偏向ミラー72a, 72bはともにXY平面に対して45°傾むけられ、かつ、互いにY軸方向に所定の距離をおいて配置されているとともに、それぞれ、あおり調整機構付きのミラーホルダー74a(図3参照)及び74b(図示せず)に取り付けられている。偏向ミラー72a, 72bは、それぞれ、ガラス等の基板にUVレーザ光L₁及びCO₂レーザ光L₂をほぼ100%反射する誘電体多層膜がコーティングされている。そして、ミラーホルダー74a及び74bはそれぞれ支柱75a(図3参照)及び75b(図示せず)を介してベース71に固定されている。なお、偏向ミラー72a, 72bは、カバーケース71aに収納され、このカバーケース71aにはレーザ光入射窓71b(図3参照)及び71c(図示せず)が設けられている。レーザ光入射窓71b及び71cは、それぞれ偏向ミラー72a, 72bの中心を通りX軸方向に平行な直線上に形成されている。

【0026】集光レンズ73a, 73bは、それぞれレンズホルダー76a, 76bに保持され、また、このレンズホルダー76a, 76bは、それぞれ焦点調整機構77a(図3参照)及び77bを介してベース71に取り付けられている。焦点調整機構77a及び77bは周知のラック-ピニオン機構等で構成されており、レンズホルダー76a, 76bを上下に移動調整することにより、レーザ光の集光点を上下に調整できるようになっている。さらに、偏向ミラー72a, 72bの下部には、ベース71を貫通してレーザ光射出窓78a, 78bが形成されている。そして、これらレーザ光射出窓78a, 78bとレンズホルダー76a, 76bとの間には伸縮自在な蛇腹状のカバー管79a, 79bが設けられている。

【0027】したがって、レーザ光入射窓71b, 71cを通じてX軸方向に沿って入射したレーザ光はそれぞ

れ偏向ミラー74a, 74bによって90°進路を変更され、レーザ光射出窓78a, 78bを通じて集光レンズ73a, 73bに導かれ、これら集光レンズ73a, 73bによって被加工ガラス板11に集光されるようになっている。そして、これら集光点は、上述のY方向走査フレーム5及びX方向走査ステージ6を適宜移動させることにより目的とする加工形状に沿って走査させることができるようにになっている。なお、UVレーザ光L₁の集光スポット径は30μm内外、CO₂レーザ光の集光スポット径は100μm内外である。また、被加工ガラス板11は、低アルカリガラスの薄板(300×300×1mm)である。

【0028】また、図4に示されるように、偏向光学系10は、反射鏡91, 92によって反射されてきたUVレーザ光L₁及びCO₂レーザ光L₂の進行方向を2つの偏向ミラー101及び102によってそれぞれ90°変更して集光光学系7に入射させるものである。偏向ミラー101, 102はともにYZ平面に対して45°傾むけられ、かつ、XY平面上においてY軸方向と45°なす方向に互いに所定の距離をおいて配置されているとともに、それぞれ、あおり調整機構付きのミラーホルダー101a及び102aに取り付けられている。偏向ミラー101, 102は、それぞれ、ガラス等の基板にUVレーザ光及びCO₂レーザ光をほぼ100%反射する誘電体多層膜がコーティングされている。そして、ミラーホルダー101a及び102aは、それぞれ、図示しない支柱を介してベース103に固定され、このベース103はY方向走査フレーム5に固定されている。なお、これら偏向ミラー101, 102は、カバーケース104に収納され、このカバーケース104にはレーザ光入射窓105a及び105b、ならびに、レーザ光射出窓106a, 106bがそれぞれ設けられており、UVレーザ光L₁及びCO₂レーザ光L₂はそれぞれこれらの入・出射窓を通じて入・出射され、出射されたレーザ光は上述のように、集光光学系7に導入されて被加工ガラス11に集光される。

【0029】なお、この一実施例の装置では、本発明における第1走査手段(UVレーザ光の走査手段)と、第2走査手段(CO₂レーザ光の走査手段)とを、1つのXY走査ステージによって兼ねるようにしているから、比較的構造が単純であるという利点を有する。

【0030】一実施例のガラス加工方法

次に、上述のガラス加工装置を用いて本発明の一実施例のガラス加工方法を実施する手順を説明する。

【0031】この一実施例の方法は、UVレーザ光L₁によるスクライビング工程と、このスクライビング工程の次に行われるCO₂レーザ光L₂による割断の工程とからなる。

【0032】スクライビング工程は、UVレーザ光L₁を集光レンズ系7の集光レンズ73aを通じて被加工ガ

ラス板11の極表面に集光させ(集光スポット径:約30μm)、集光点のガラス部材を蒸散させる(図5(a)参照)。図5(a)において、矢印Pは蒸散物を示す。これと同時に、Y方向走査フレーム5及びX方向走査ステージ6を適宜移動させることにより、UVレーザ光L₁の集光点を、目的とする加工形状に沿って走査させる。この場合、走査速度は、UVレーザ装置1のパルス発振の繰り返し周期(5KHz)を考慮にいれて、各パルスによる蒸散スポットが僅かに重なるようにする。これにより、被加工ガラス板11の極表面に加工目的の形状に沿って、幅数十μm、深さ数μmの溝12が形成され(図5(b)参照)、スクライビングが施される。

【0033】次に、CO₂レーザ光L₂による割断の工程は、CO₂レーザ光L₂を、集光レンズ系7の集光レンズ73bを通じて被加工ガラス板11の表面における溝12が形成されている部位に集光させ(集光スポット径:約100μm)、この部位に熱歪みsを加える(図5(c)参照)。これにより、溝12に沿って厚さ方向に割れ13が入り、この部位から割断される(図5(d)参照)。これと同時に、Y方向走査フレーム5及びX方向走査ステージ6を適宜移動させて、CO₂レーザ光L₂の集光点を、溝12に沿って走査させる。これにより、被加工ガラス板11を加工目的の形状に割断することができる。

【0034】上述の実施例によれば、UVレーザ光によるスクライビングであるので、曲線を含む複雑な形状でも、他の部位にクラック等を入れることなく正確に、かつ、容易・迅速にスクライビングを施すことができ、しかも、そのスクライビングの際には、ガラス体を昇華させ、蒸発・飛散させるので、削り屑のような、後の製造工程等で障害となる可能性のある塵等を発生させることがない。加えて、熱歪を加える工程も、赤外線領域のレーザ光を照射することにより行うので、スクライビングを施した部位に正確に沿って熱歪を加えることができ、他の部位に有害な応力等を加わることがない。従って、割断の際に割れや欠け等を生ずるおそれもなく、高い歩留まりで割断を行うことができる。

【0035】なお、上述の一実施例では、UVレーザ光として、Nd:YAGレーザの第4高調波光を用いた例をかけたが、UVレーザ光としては、Nd:YAGレーザの第3高調波光(波長:355nm)、エキシマレーザ(ArF; 193nm, KrF; 248nm, XeCl; 308nm, XeF; 351nm)、窒素レーザ(331nm)等を用いることもできる。

【0036】また、加工対象のガラスとしては、石英ガラス以外のガラス、例えば、無アルカリガラス(組成例:SiO₂; 49%、Al₂O₃; 10%、B₂O₃; 15%、ZnO; 25%)、中性ホウケイ酸ガラス(組成例:SiO₂; 72%、Al₂O₃; 5%、

B_2O_3 ; 9%、 RO ; 7.5%、 R_2O ; 6.5%、ただし、RはNaまたはKとする。)、ソーダ石灰ガラス(組成例： SiO_2 ; 72.5%、 Al_2O_3 ; 2%、 RO ; 12%、 R_2O ; 13.5%、ただし、RはNaまたはKとする。)があげられる。

【0037】さらに、上述の一実施例では、レーザ光の走査方法として、XYステージによる走査の例をかかげたが、これは、例えば、周知のガルバノメータスキャナ等を用いることもできる。

【0038】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明にかかるガラス加工方法及びその装置は、被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する紫外線領域のレーザ光を被加工ガラス体の表面部に集光してその集光点を加工目的の形状に沿って走査させることにより、該被加工ガラス体の表面部にスクリービングを施した後、このスクリービングを施した部位に沿って前記被加工ガラス体に対して高い吸収率を有する赤外線領域のレーザ光を照射して該部位に割断に結び付く熱歪みを与えることにより割断するよう

にしたもので、これにより、被加工ガラス体を、塵等の発生を押さえつつ容易・迅速に複雑な形状に割断することを可能にしたものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施例にかかるガラス加工装置の斜視図である。

【図2】集光光学系の縦(YZ平面で切断した)断面図である。

【図3】集光光学系の横(XZ平面で切断した)断面図である。

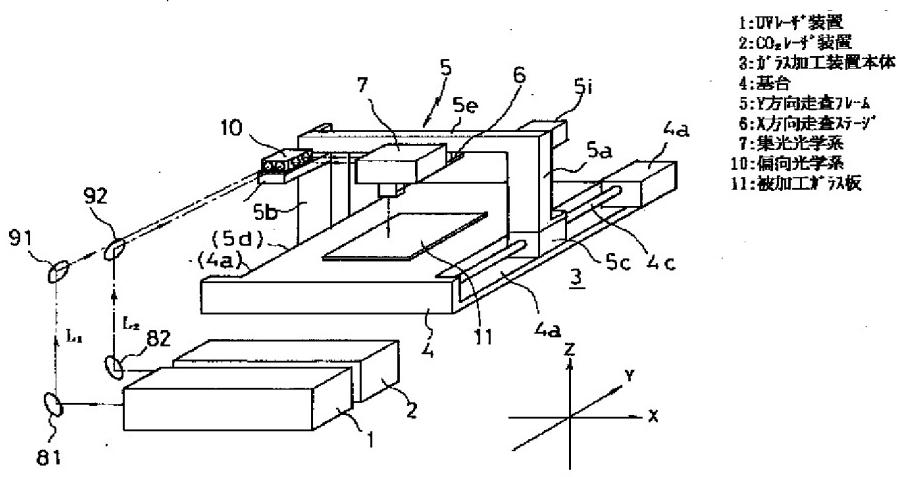
【図4】偏向光学系の水平(XY平面で切断した)断面図である。

【図5】一実施例のガラス加工方法の工程説明図である。

【符号の説明】

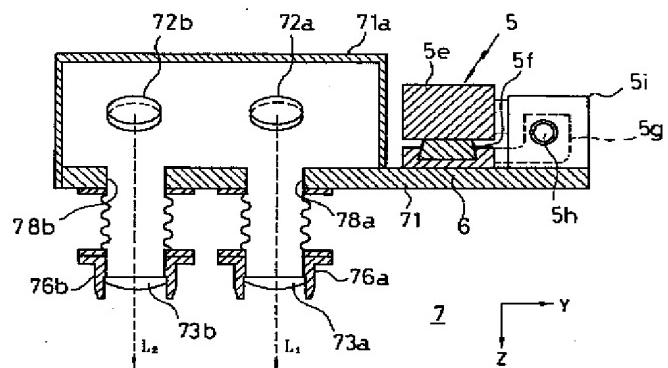
1…UVレーザ装置、2…CO₂レーザ装置、3…ガラス加工装置本体、5…Y方向走査フレーム、6…X方向走査ステージ、7…集光光学系、10…偏向光学系、11…被加工ガラス板。

【図1】



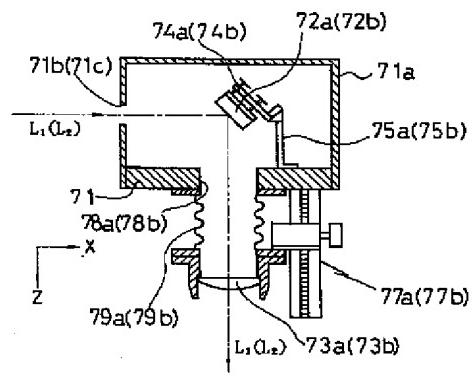
一実施例のガラス加工装置の斜視図

【図2】



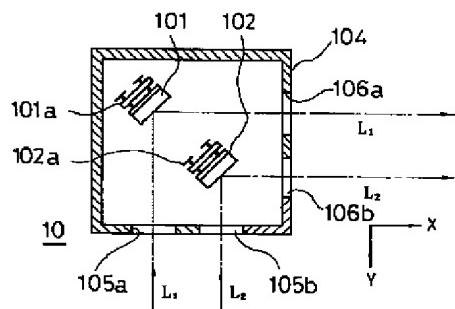
集光光学系の縦(YZ平面で切断した)断面図

【図3】



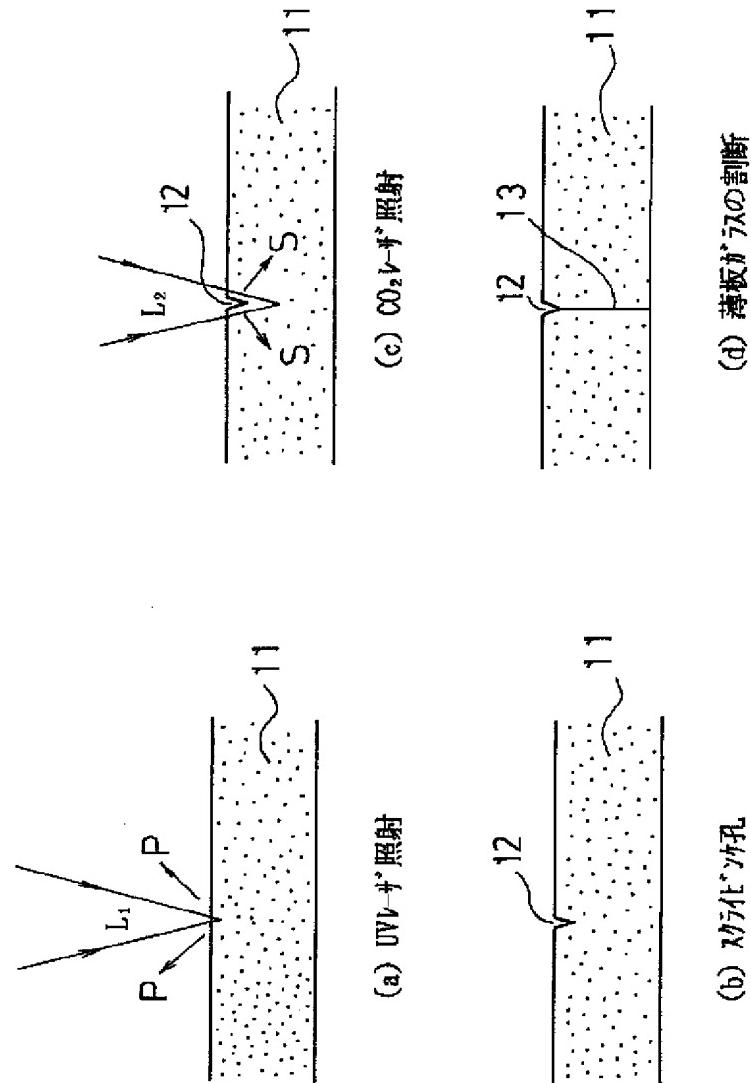
集光光学系の横(XZ平面で切断した)断面図

【図4】



偏向光学系の水平(XY平面で切断した)断面図

【図5】



一実施例のガラス加工方法の工程説明図